



# **ANALISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA BOSCOSA DEL MUNICIPIO EL CARMEN NORTE DE SANTANDER ENTRE LOS AÑOS 2010-2020 UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES**

**MULTITEMPORAL ANALYSIS OF THE CHANGE IN THE  
BOSCOSA COVERAGE OF THE MUNICIPALITY OF EL  
CARMEN NORTE DE SANTANDER BETWEEN 2010-2020  
USING SATELLITE IMAGES**

Diego Puerto Mahecha  
3101537  
Ingeniero Catastral Y Geodesta

Director:  
Ing. Freddy León Reyes M.Ed

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA  
MAYO DE 2021  
BOGOTÁ-COLOMBIA**

# **ANALISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA BOSCOSA DEL MUNICIPIO DEL CARMEN NORTE DE SANTANDER ENTRE LOS AÑOS 2010-2020 UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES**

## **MULTITEMPORAL ANALYSIS OF THE BOSCOSA COVERAGE OF THE MUNICIPALITY OF CARMEN NORTE DE SANTANDER BETWEEN THE YEARS 2010-2020 USING SATELLITE IMAGES**

Diego Puerto Mahecha  
Ingeniero Catastral Y Geodesta.  
Especialización En Geomatica  
Universidad Militar Nueva Granada.  
Bogotá, Colombia  
[est.diego.puerto@unimilitar.edu.co](mailto:est.diego.puerto@unimilitar.edu.co)

### **RESUMEN**

Los municipios con alta densidad ambiental y cobertura boscosa densa, tienen una importancia vital en la estabilidad de los ecosistemas de Colombia, estos han sufrido grandes transformaciones debido a los conflictos generados en su territorio, y en el mal uso del suelo generado en los últimos años. Este trabajo trata del cambio multitemporal del bosque denso en el municipio de El Carmen Norte de Santander, teniendo en cuenta su relevancia geográfica con el parque natural Catatumbo Bari y su evolución desde el año 2010 al año 2020; analizando la relevancia del postconflicto en la evolución ambiental de la región. Para ello se utilizarán imágenes satelitales de tres años diferentes (2010, 2015 y 2020); con métodos de procesamiento como la clasificación supervisada para medir la cantidad de bosque cambiado, y índice de vegetación normalizada (NDVI) para evaluar la calidad de vegetación en este periodo de tiempo.

**Palabras Clave:** cobertura boscosa, Cambio multitemporal, evolución ambiental, clasificación supervisada, índice de vegetación normalizada (NDVI).

## **ABSTRACT**

The municipalities with high environmental density and dense forest cover, have a vital importance in the stability of the ecosystems of Colombia, they have undergone great transformations due to the conflicts generated in their territory, and the bad soil generated in recent years. This work deals with the multitemporal change of the dense forest in the municipality of El Carmen Norte de Santander, taking into account its geographical relevance with the Catatumbo Bari natural park and its evolution from 2010 to 2020; analyzing the relevance of the post-conflict in the environmental evolution of the region. For this, satellite images from three different years (2010, 2015 and 2020) will be used; with processing methods such as supervised classification to measure the amount of forest changed, and the normalized vegetation index (NDVI) to evaluate the quality of vegetation in this time period..

**Keywords:** forest cover, multitemporal change, environmental evolution, supervised classification, normalized vegetation index (NDVI).

## INTRODUCCIÓN

El conflicto Socio ambiental en Colombia que se ha desarrollado en los últimos años, por la deforestación de bosque primario en el país ha ido de aumento. Esta tiene una afectación principal en los parques nacionales naturales de Colombia, y en los municipios que conforman estas zonas.

En los últimos años la cifra de destrucción de bosques dentro de parques y otras reservas naturales, creció un 177 por ciento después de la firma del acuerdo de paz en el gobierno de Juan Manuel Santos. Siendo una cifra significativa del deterioro ambiental que sacude al país. (COLOMBIA, 2020).

Dentro de estas regiones que han tenido gran afectación en la nación, se encuentra la región del Catatumbo la cual es un remanente de la selva húmeda tropical, que ha sido rica en diversidad biológica, en donde ha habido gran extracción de recursos naturales, principalmente petróleo, madera y carbón, sufriendo procesos acelerados de colonización y de destrucción forestal para tales fines. (PUEBLO, 2006).

En el caso de municipios que poseen atractivo turístico y ambiental, como es el caso de El Carmen Norte de Santander, por tener a su disposición parte del parque Natural Catatumbo Barí rico en flora y fauna. su importancia se vuelve fundamental en la conservación de ecosistemas en el país. Parte del parque se encuentra al norte del municipio el cual comprende una extensión de 159.9754 hectáreas y tiene jurisdicción en los municipios de Convención, El Carmen, Teorama, El Tarra y Tibú. (DELITO, 2017).

Esto es importante analizarlo desde un punto de vista municipal en las zonas críticas, ya que se genera una afectación económica social y política, donde no se reconocen alternativas sostenibles, que enriquezcan la región, y reduzcan procesos de deforestación acelerados, generando una cultura de sobrevivencia, olvidando los efectos negativos del mal manejo de los recursos naturales a su disposición. (Hortua, 2017)

El presente análisis parte de esta premisa y estará enfocado en el análisis de la cobertura boscosa en el municipio de El Carmen, que tiene relación directa con el parque natural Catatumbo Bari; generando radical importancia en la protección ambiental del departamento de Norte de Santander.

Este proyecto se enfocará principalmente en el análisis de bosques naturales y su relevancia en cada región del municipio, observando las zonas que tienen más afectación de este tipo de cobertura, y su cambio a través del tiempo. Para esto se realizará un análisis multitemporal enfocados en tres años diferentes, 2010 pasando por el 2015 hasta llegar al 2020. De esta forma se analizará la transformación en el suelo después de la firma de los acuerdos de paz en la habana.

Se trabajarán imágenes satelitales landsat, obtenidas mediante el servicio geológico de los Estados unidos(USGS), las cuales tienen la ventaja frente a otros sensores remotos, que son ampliamente acreditados y contrastados, cuyas especificaciones son conocidas por otros profesionales de las geociencias, y que tienen datos libres

para toda la comunidad científica facilitando el desarrollo del estudio. (GONZALES, CONDE, & DE PABLO, 2007).

En ese orden de ideas se utilizarán dos imágenes landsat 8 para 2015 y 2020, que cuenta con dos sensores, el sensor multiespectral operation land imager(OLI), y el sensor térmico infrarrojo Thermal infrared sensor (TIRS). Estos tienen la ventaja de contar con una resolución radiométrica más alta, lo que hace que tenga una mejora significativa para detectar cambios en la superficie terrestre. (MUÑOZ & LOPEZ, 2016). Por otro lado, se usará una imagen satelital landsat 5 que aunque no cuenta con una resolución tan alta, se puede hacer un correcto análisis multiespectral con sus 7 bandas de trabajo y además tiene la facilidad de tener fotografías satelitales más antiguas, lo que facilita un análisis multitemporal más amplio.

Posteriormente se realizará un índice de vegetación de diferencia normalizada(NDVI), para establecer de una forma más específica la intensidad fotosintética de la vegetación, y su cambio e incidencia en los últimos años debido a deforestación y cambio de uso del suelo primario.

Con los procesos anteriores se elaborarán unas estadísticas analizando multitemporalmente los cambios de cobertura boscosa en el municipio; a través de los diez años del estudio, observando zonas críticas en el municipio, donde ha habido un cambio significativo en la biodiversidad, y los recursos naturales del mismo.

## **1.1 MATERIALES Y MÉTODOS**

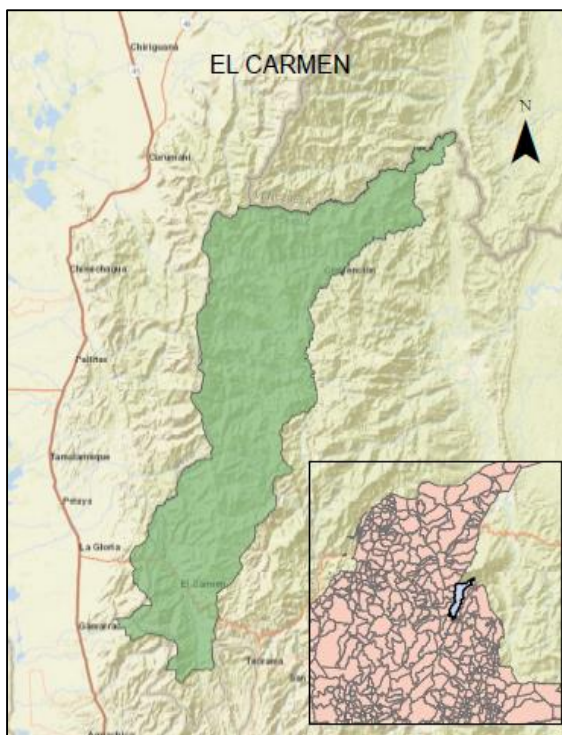
### **Identificación de la Zona de estudio**

El municipio **El Carmen** se encuentra ubicado en el departamento del Norte de Santander Colombia, a aproximadamente 15 horas de la capital de la república. Limita por el norte con la República de Venezuela, al Sur con los departamentos del Cesar y con el Municipio de Ocaña al Oriente con el Municipio de Convención y al Occidente con el Departamento del Cesar. El municipio de El Carmen está ubicado sobre la Cordillera Oriental en una región montañosa. (Santander, 2003).

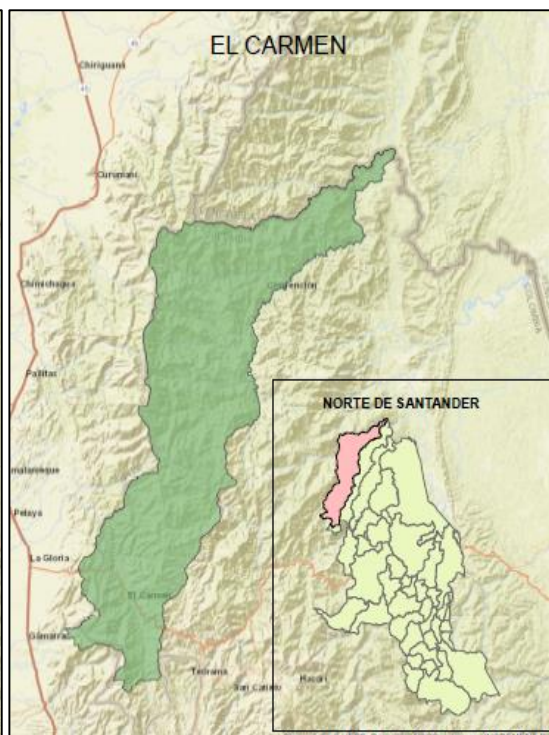
El Carmen cubre un área total de 1.723,17 KM<sup>2</sup> que representa el 7.78% del departamento de norte de Santander y su cabecera municipal se encuentra en un piso térmico templado que oscila entre 17 y 24 grados centígrados, con una precipitación media anual entre 1000 y 1250 mm; así mismo se localiza en las coordenadas 8° 30'39" de latitud norte y a los 73° 26' 51" de longitud de Oeste Observatorio Bogotá y además se encuentra a una altitud de 761 m.s.n.m. (Santander, 2003).

El municipio cuenta también con una población estimada de 2446 habitantes en zona urbana y 14005 habitantes en zona rural. (DANE, 2005).

## Mapa de Ubicación El Carmen Norte De Santander



*Figura 1 ubicación Municipio el Carmen En Colombia.*

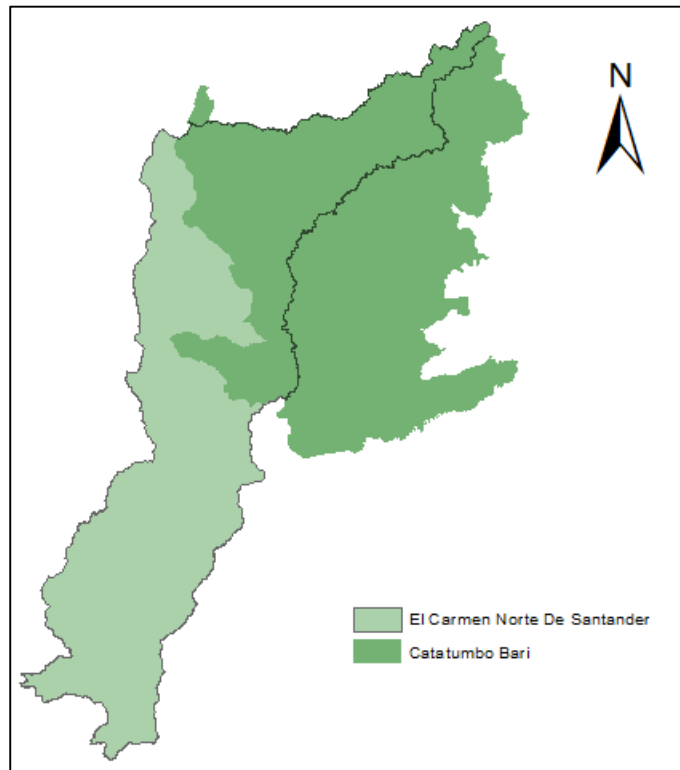


*Figura 2 ubicación Municipio el Carmen en el departamento Norte de Santander.*

Una parte del territorio del municipio quedó incluido dentro de La Reserva Forestal De la Serranía De los moflones la cual es de 157.795,65 Ha, es decir el 91.57% del área del municipio, Dentro de esta reserva forestal también se encuentra el parque nacional natural Catatumbo Bari (66.853 Ha) y el resguardo indígena Motilón Bari (38.879,20 Ha), los cuales representan una parte importante de la soberanía ambiental del municipio, y son la única actividad limítrofe con Venezuela (Santander, 2003).

Es relevante observar la radical importancia que representa el Parque natural Catatumbo Bari en la región de El Carmen; ya que este cuenta con aproximadamente 65.364,97 hectáreas dentro del municipio, representando el 37.8% del total de la superficie de este.

Así mismo el 40,51% del parque natural Catatumbo Bari, pertenece a Él Carmen, siendo una cifra significativa, que representa una importante zona de protección y de prioridad en la conservación de bosque primario dentro del municipio.



*Figura 3 Relevancia del parque natural Catatumbo Bari dentro del municipio de El Carmen Norte de Santander*

En la figura 3 se observa la intersección de territorio entre el parque natural Catatumbo Bari (Color verde) y el El Carmen (Color azul cian), el primero se une en la parte occidental de su superficie, y el segundo en la nororiental.

## **1.2 Materiales**

Los insumos de la investigación, partieron de tres bases principales; el primero de las imágenes satelitales obtenidas, a partir del servicio geológico de estados unidos(USGS), tomándose dos imágenes landsat 8 para 2020 y 2015, y una imagen landsat 5 de 2010, tomando un analisis multitemporal de 5 años. Adicional se tomaron dos shapefile de extensión territorial, uno de los parques nacionales del país, y otro de los departamentos y municipios de la nación. Y finalmente el insumo para el procesamiento de analisis de la información que fueron Arcgis Desktop y Erdas Imagine. En la tabla 1 se observa la descripción de los materiales utilizados:

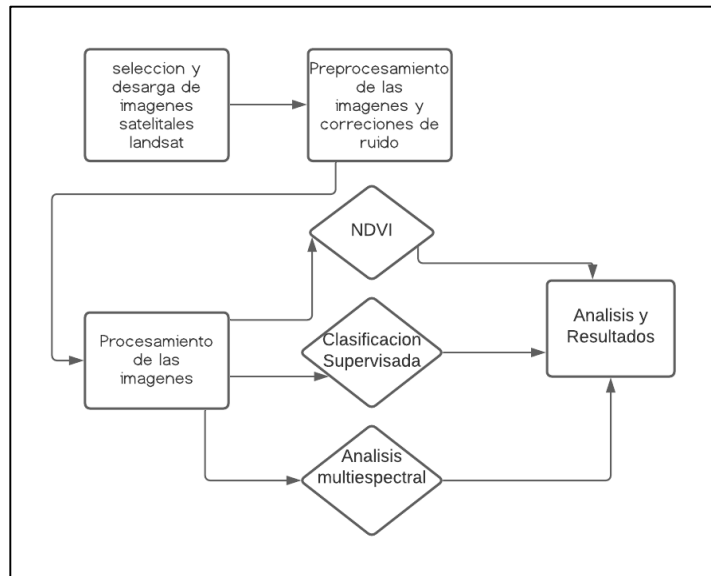
*Tabla 1 materiales e insumos utilizados*

MATERIAL/INSUMO	NOMBRE	PROVEEDOR	FECHA DE GENERACIÓN
IMÁGENES SATELITALES	LT05_L1TP_008054_20100122_20161017_01_T1	EARTH EXPLORER U.S GEOLOGICAL SURVEY(USGS)	22 DE ENERO DE 2010
	LC08_L1TP_008054_20150901_20170404_01_T1	EARTH EXPLORER U.S GEOLOGICAL SURVEY(USGS)	1 DE SEPTIEMBRE DE 2015
	LC08_L1TP_008054_20200306_20200314_01_T1	EARTH EXPLORER U.S GEOLOGICAL SURVEY(USGS)	6 DE MARZO DE 2020
SHAPEFILES	MGN_2020_MPIO_POLITICO	GEOPORTAL DANE 2020	2020
	MGN_2020_DPTO_POLITICO	GEOPORTAL DANE 2020	2020
	PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA	DATOS ABIERTOS ESRI	SEPTIEMBRE 2020
SOFTWARE	ARCGIS DESKTOP 10.7.1	ESRI	2019
	ERDAS IMAGINE 2020	HEXAGON GEOESPATIAL	2019
	MICROSOFT EXCEL 2016	MICROSOFT	2015

### 1.3 Métodos

Para el Analisis multitemporal y la obtención de los resultados deseados se tuvo que recurrir a una metodología clara que partió desde la escogencia de las imágenes adecuadas para la realización del estudio, hasta el procesamiento y analisis de estadísticas, en la figura 4 se observa un esquema donde se detalla la misma:





*Figura 4 esquema metodológico*

### 1.3.1 Selección y descarga de imágenes satelitales

En la selección y descarga de las imágenes satelitales, se usó la interfaz de Earth Explorer, del servicio geológico de los estados unidos(USGS), como fuente de información de fácil acceso y de excelente calidad el analisis multitemporal de la zona de estudio. Esta interfaz, permite al usuario acceder a diferentes conjuntos de imágenes dependiendo del sensor con el que fueron capturadas además de la posibilidad de establecer criterios de búsqueda específicos como el porcentaje de cubrimiento de nubes y la cuadrícula mundial de referencia WRS (Word Wide Reference System) (BENITEZ, 2020).

Para la obtención de las imágenes adecuadas para el municipio de El Carmen, se establecieron unas coordenadas específicas para la zona, que permitieron buscar un Path y Row, que no son más que criterios de la cuadrícula mundial de referencia, en donde se encontraron las imágenes satelitales adecuadas para el estudio.

De esta forma se buscaron dos factores para la escogencia de las imágenes: el primero que las imágenes tuvieran poca nubosidad en el momento de su captura, y se pudiera apreciar la cobertura boscosa en forma adecuada, y el segundo que hubiera una temporalidad aproximada de 5 años entre cada imagen. Como el satélite landsat 8 empezó su vuelo en el 2013, se pudieron tomar dos imágenes de este, una en el 2020, y otra en el 2015; pero para el 2010 se encontró una imagen adecuada con el satélite landsat 5 que podía completar el estudio multitemporal.

### 1.3.2 Preprocesamiento de las imágenes satelitales y eliminación del ruido

Una vez descargadas las imágenes se procede a realizar el proceso de unión de bandas para la correcta visualización de coberturas dentro de la imagen, posteriormente se cargó el polígono del municipio de El Carmen, para realizar un

recorte del mismo con la imagen satelital, obteniendo una imagen poligonal en raster del municipio; este procedimiento se repitió para cada imagen descargada.

para el caso de las dos imágenes de landsat 8(2020-2015), se utilizó la herramienta *pansharpening*, que une las primeras siete bandas de la imagen, con la octava pancromática, obteniendo una resolución espacial de quince metros, más detallada para la clasificación especialmente de coberturas boscosas en el municipio.

En el caso de la imagen de landsat 5 de 2010, se realizó una combinación de bandas, con una resolución de 30 metros. Y se tomó una combinación multiespectral para vegetación, para la correcta clasificación supervisada posterior.

Posteriormente se realizó una corrección atmosférica de cada una de las imágenes, en el software Arcgis Desktop, mediante un complemento del mismo, que permite obtener la radiancia y reflectancia de cada imagen.

### **1.3.3 Procesamiento de las imágenes**

El procesamiento de las imágenes consistió en la clasificación de la cobertura boscosa en cada una de las imágenes, para su posterior análisis multitemporal y estadístico. Para ello se realizó un proceso de análisis espectral mediante clasificación de bandas en infrarrojo, para observar las coberturas de vegetación de una manera más visible, posteriormente se hizo un estudio complementario mirando del índice de vegetación NDVI, para tener una resolución más detallada de las coberturas y su cambio a través del tiempo, y finalmente se realizó una clasificación supervisada enfocada principalmente en las zonas de vegetación intensiva.

### **1.3.4 Analisis multiespectral**

Las imágenes multiespectrales poseen varias bandas para almacenar información del espectro electromagnético, disponiendo de tres canales RGB rojo, verde y azul que puede utilizarse para visualizar niveles digitales de una banda y obtener una composición a color. (MINISTERIO DE ESPAÑA;MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA;INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL, 2020)

Con el análisis multiespectral se analizó de forma específica las coberturas boscosas y su cambio a través del tiempo; para ello se tuvieron en cuenta dos combinaciones de las bandas espectrales, la primera combinando las bandas rojo, verde y azul para evidenciar la zona en un color natural, y la segunda combinando las bandas NIR, rojo y verde del sensor, enviándolo a los canales R, G y B respectivamente, obteniendo una composición que visualiza en rojo las diferentes tonalidades de vegetación, para un mejor análisis de este tipo de cobertura.

### 1.3.5 NDVI (Índice De Vegetación)

Este índice se basa en el comportamiento radiométrico de la vegetación, relacionado con la actividad fotosintética, y la estructura foliar de las plantas, permitiendo determinar la vigorosidad de la planta. El índice más conocido es el índice normalizado diferencial de vegetación, que fue introducido para separar la vegetación del brillo que produce el suelo.

Los valores del NDVI van en función de la energía, absorbida o reflejada por las plantas en diversas partes del espectro electromagnético, de esta forma cuando la vegetación absorbe más agua, refleja más cantidad de energía, en contraste, cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés la cantidad de agua disminuye en las pareces celulares, obteniendo menos reflectancia y aumentado el rojo como índice de absorción clorofílica.

(CERVIGON, 2015)

En la figura 5 se muestra el cálculo del NDVI, la cual es una formula simple entre el infrarrojo cercano(NIR), y el rojo(RED):

$$\text{NDVI} = \frac{\varphi_{\text{NIR}} - \varphi_{\text{RED}}}{\varphi_{\text{NIR}} + \varphi_{\text{RED}}}$$

*Figura 5 formula NDVI (CERVIGON, 2015)*

Los valores fluctúan entre 0 y 1, siendo entre más alto el índice, más propenso a vigorosidad en la vegetación; este índice es fundamental para el estudio ya que permite establecer zonas en el municipio donde la vegetación ha variado su intensidad boscosa y en qué sectores de desarrolla más este fenómeno.

En el caso del estudio se realizó el método de índice de vegetación normalizada, para observar calidad de la vegetación alrededor de los 3 años de observación;(2010,2015, y 2020), analizando el cambio de vigorosidad de la planta y de la densidad boscosa en este tiempo, como un complemento de la clasificación supervisada.

### 1.3.6 Clasificación supervisada

La clasificación supervisada es la técnica más utilizada en el analisis cuantitativo; esta se basa en segmentar el suelo en clases particulares con un objetivo específico. El analisis se obtiene a través de áreas de entrenamiento que son los parámetros que el clasificador necesita, para reconocer y etiquetar pixeles invisibles. De esta forma se obtiene la firma espectral de cada cobertura del suelo,

categorizando las mismas y obteniendo áreas específicas de análisis. (ANU COLLEGE OF ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE, 2013).

Para la clasificación de las celdas de utilizo el método de máxima verosimilitud, donde se escogen aquellos valores de la celda que tienen mayor probabilidad de ocurrir, que sean más compatibles con la firma espectral. (BENITEZ, 2020). Este método consiste en escoger aquellos valores de la imagen que tienen mayor probabilidad de ocurrir, es decir el más compatible con la firma espectral. (MOLINERO, 2003).

Para el podrecimiento de realizo el procedimiento a partir del raster multiespectral recortado de cada año del municipio, para finalmente obtener una imagen de clasificación entre bosque denso, y no bosque, catalogado como “otros” refiriéndose a los diferentes tipos de cobertura que no pertenecen a vegetación densa.

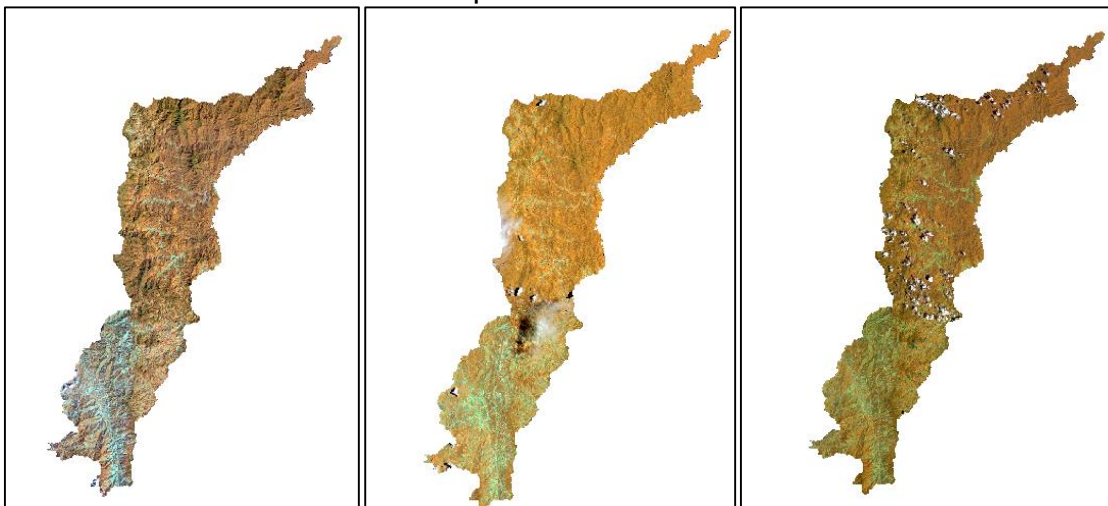
Posteriormente se realizó un procedimiento de eliminación de ruido, con el efecto sal y pimienta, que ayuda a eliminar pixeles en la imagen inadecuados alrededor de la imagen.

Como en el NDVI se analizó la calidad de vegetación, con este proceso se analiza el cambio de cantidad de vegetación boscosa, desde el 2010 al 2020 en el municipio.

## 2 RESULTADOS Y DISCUSIONES

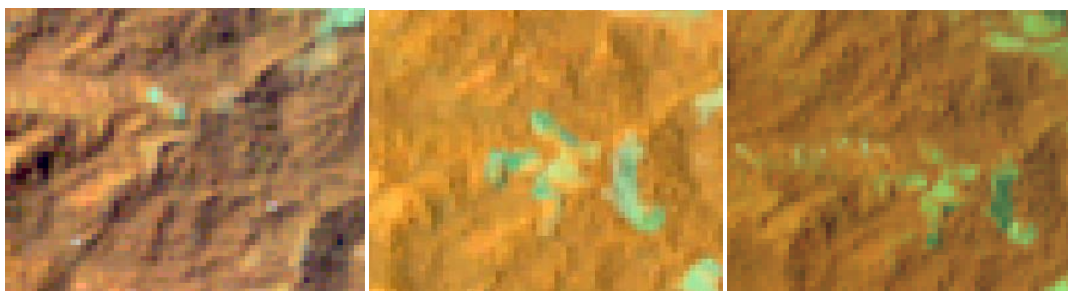
### 2.1 Análisis multiespectral

Para realizar un correcto análisis de la cobertura boscosa del municipio se decidió realizar una combinación RGB teniendo en cuenta las siguientes tres bandas infrarrojo cercano(NIR), infrarrojo de onda corta (SWIR 1), y rojo, para el caso de la imagen de 2010 al ser landsat 5 esta combinación reflejaba las bandas 4,5,3; en el caso de las imágenes 2015 y 2020 landsat 8 su combinación era 5,6,4; en la figura 6 se muestra la visualización de esta unión multiespectral en cada una de ellas en el municipio.



*Figura 6 combinación RGB (infrarrojo cercano; SWIR1; rojo) El Carmen Norte de Santander de izquierda a derecha 2010,2015,2020*

a través de este análisis multiespectral se observó el cambio que ha tenido la vegetación, teniendo en cuenta la problemática social generada en el municipio, sobre todo en zonas pertenecientes y circundantes al parque nacional Catatumbo Bari; en la figura 7 se observa un ejemplo de esta transformación teniendo en cuenta la combinación de bandas realizada:

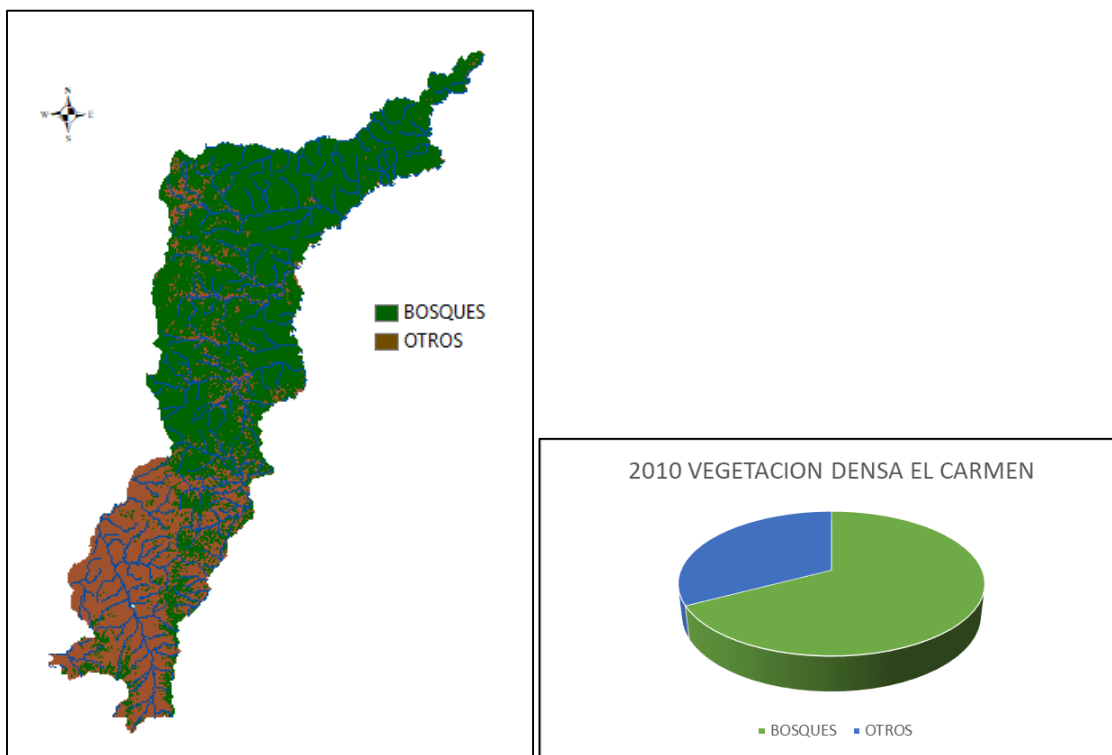


*Figura 7 ejemplo de transformación de cobertura Boscosa El Carmen combinación RGB (infrarrojo cercano; SWIR1; rojo) de izquierda a derecha 2010,2015,2020*

En la figura 7 se observa un ejemplo del análisis multitemporal realizado, teniendo en cuenta una combinación de bandas multiespectral; en la imagen de la izquierda (2010); se detalla en color café la cobertura boscosa con un poco de afluencia de tono azul, que significa la presencia de inicio de deforestación para probablemente cultivos de coca; en la imagen de la mitad (2015), se observa la gran deforestación en la zona, reemplazada por esta textura azul cian, que puede significar la extensión de cultivos ilícitos por la zona; finalmente en la imagen de la derecha(2020) es color verdoso se detalla la extensión de este tipo de cultivos, que poco a poco se apodera de otra zona antes destinada a vegetación boscosa.

## **2.2 Clasificación supervisada**

La correcta clasificación supervisada se hizo en base al análisis de la leyenda nacional de coberturas de la tierra “*metodología corine land cover adaptada para Colombia escala 1:100.000*”; a través del software ERDAS y sus cambios en los 3 años de estudio como se observa en la figura 8,9 y 10.

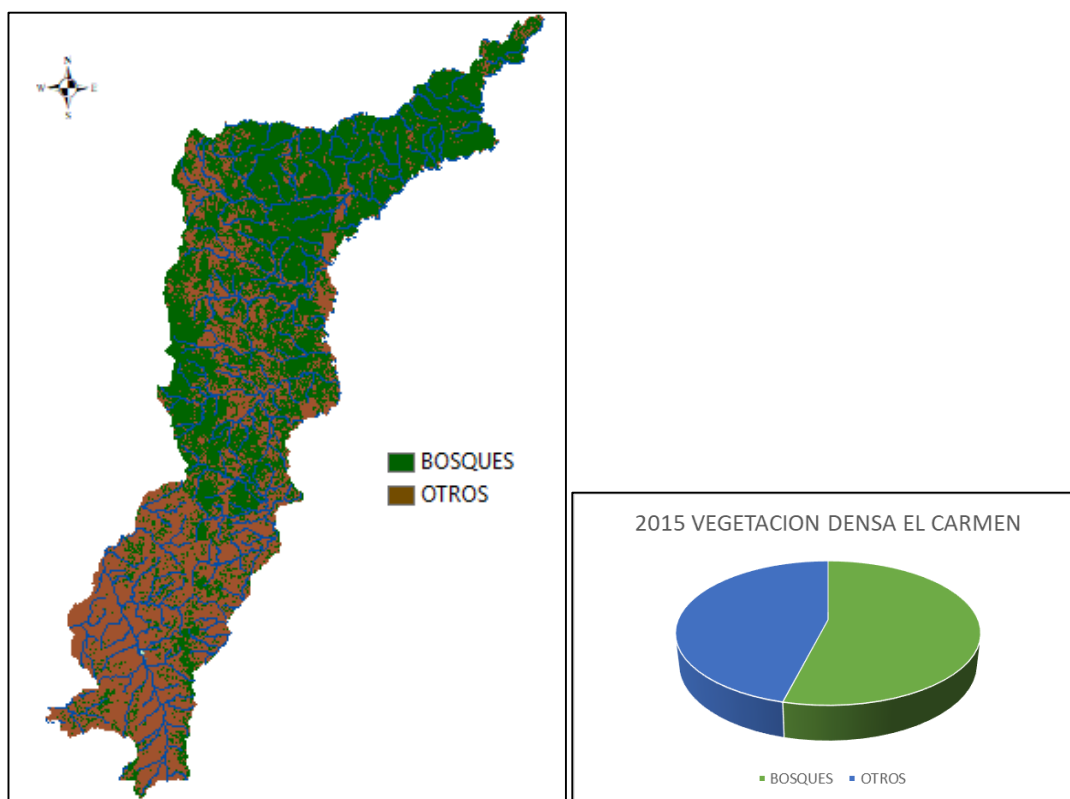


*Figura 7 Clasificación supervisada Bosque Denso el Carmen año 2010*

*Tabla 2 Descripción coberturas año 2010*

2010 CLASIFICACION SUPERVISADA	AREA(HA)	%
BOSQUES	116178	67.27%
OTROS	56524.5	32.73%
<b>TOTAL</b>	<b>172702.5</b>	<b>100.00%</b>

En el año 2010 a pesar de la deforestación marcada en años anteriores, se observa que el bosque denso en el municipio prima como la mayor afluencia, en todo el territorio con 116.178 hectáreas marcando el 62,27% del total del municipio, teniendo en cuenta también, su intersección con el parque natural Catatumbo Bari. Que se asocia a la parte norte del mismo. en la figura 7 en la parte sur, también se detalla que en este año aún existía recubrimiento de vegetación boscosa en la parte oriental, a pesar de los procesos de deforestación crecientes.



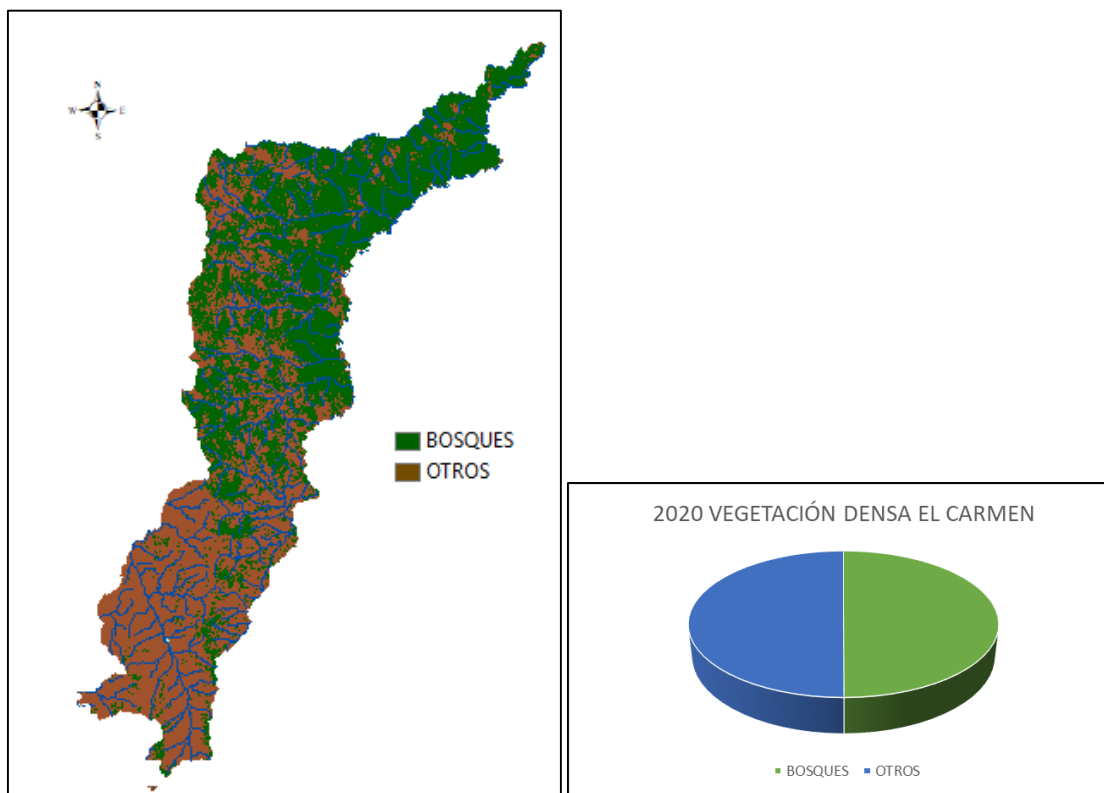
*Figura 8 Clasificación supervisada Bosque Denso el Carmen año 2015*

*Tabla 3 Descripción coberturas año 2015*

2015 CLASIFICACION SUPERVISADA	AREA(HA)	%
BOSQUES	93204.4	53.98%
OTROS	79459.7	46.02%
<b>TOTAL</b>	<b>172664.1</b>	<b>100.00%</b>

En el 2015 se puede observar un gran cambio ocurrido en la cobertura boscosa del municipio, en la figura 8 se detalla que en las zonas del norte asociadas al parque natural Catatumbo y sus alrededores, sufrieron una gran deforestación, sobre todo en la parte occidental; esto se detalla en la disminución de más veinte mil hectáreas de cobertura boscosa del municipio en el transcurso de estos cinco años; de esta forma se pasó del 67,27% al 53,98%, siendo un deterioro ambiental significativo teniendo en cuenta una temporalidad tan baja.

Hay que tener en cuenta el fuerte conflicto sucedido en estos años a causa de los grupos armados ilegales, y el crecimiento de cultivos ilícitos, que refleja el crecimiento de 32,73% del 2010 al 46.02% en el 2015 de zonas no boscosas.



*Figura 9 Clasificación supervisada Bosque Denso el Carmen año 2020*

*Tabla 4 Descripción coberturas año 2020*

2020 CLASIFICACION SUPERVISADA	AREA(HA)	%
BOSQUES	86264.6	49.96%
OTROS	86419.8	50.04%
<b>TOTAL</b>	<b>172684.4</b>	<b>100.00%</b>

En la figura 9 se observa una transición interesante, ya que a partir del 2016 se empezaron a regir los acuerdos de paz de la Habana con la guerrilla de las FARC EP, esto se demuestra en que a pesar de que la deforestación ha continuado con una creciente tendencia, la tasa de decrecimiento de bosque en el 2015-2020 es de 4.02% a diferencia de 2010-2015 que fue de 13,29%, lo cual revela una disminución significativa.

En cuanto a las zonas más deforestadas, se observa una tendencia creciente en la parte norte del municipio, principalmente en sectores de conservación natural de flora y fauna.



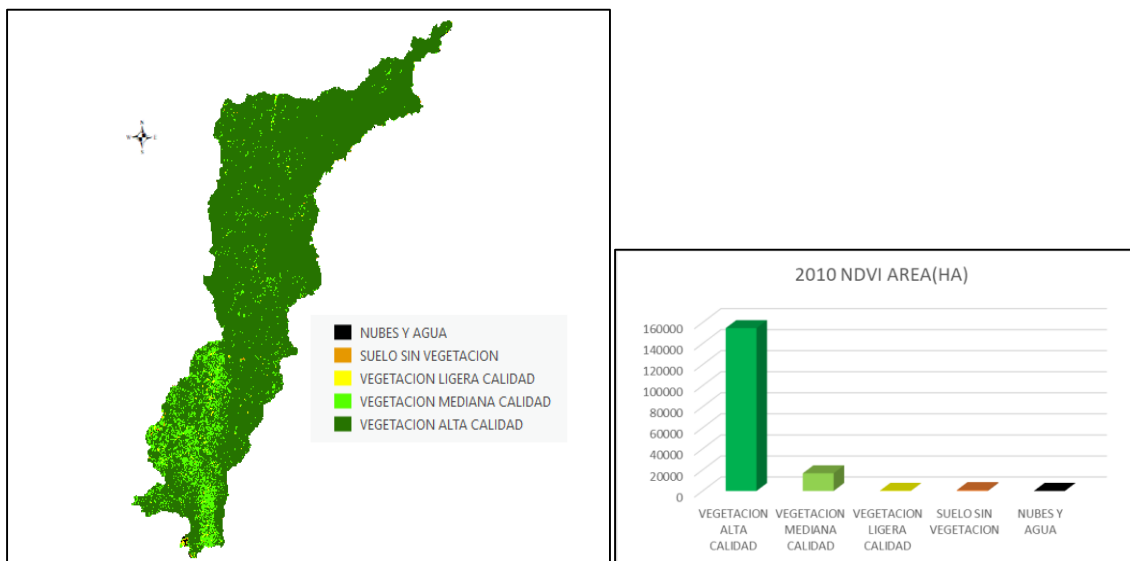
## NDVI

Como un estudio complementario se realizó un índice de vegetación normalizada para observar la pérdida de calidad del suelo; para hacerlo se tuvo en cuenta los valores propuestos de clasificación por Merg *et al.* (2011): (Adolfo López-Pérez, 2015)

*Tabla 5 clasificación NDVI fuente: (Adolfo López-Pérez, 2015)*

Clasificación	Valor
Nubes y agua (NA)	< 0.01
Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1
Vegetación ligera (VL)	0.1 - 0.2
Vegetación mediana (VM)	0.2 - 0.4
Vegetación alta (VA)	> 0.4

En la figura 10,11 y 12 se muestra la variación del índice de vegetación normalizada a través del periodo de estudio:

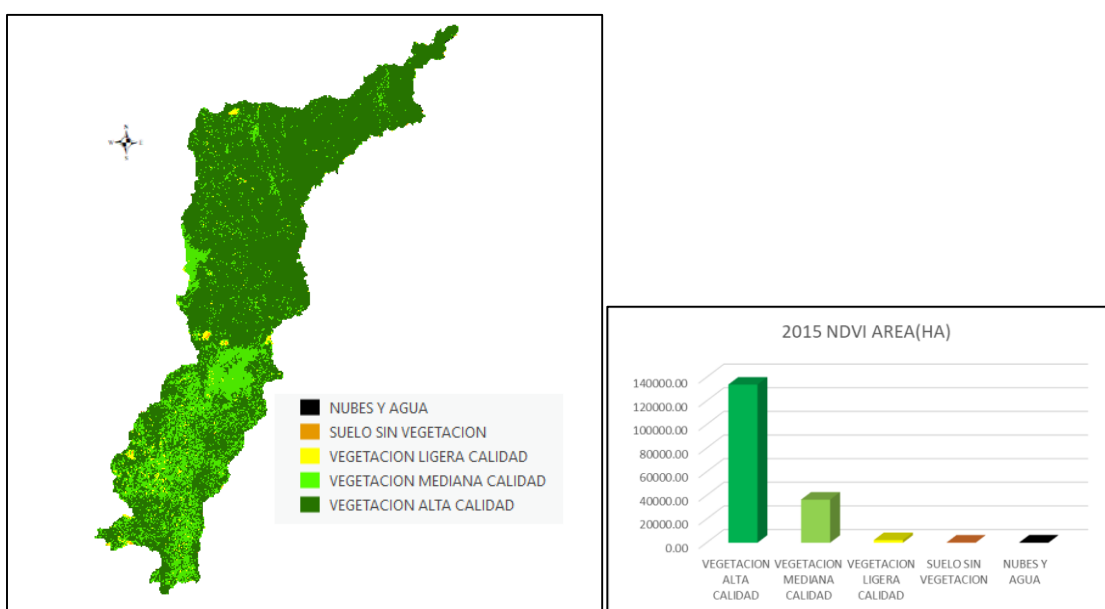


*Figura 10 NDVI Bosque Denso el Carmen año 2010*

*Tabla 5 Descripción coberturas NDVI 2010*

2010 NDVI	AREA(HA)	%
VEGETACION ALTA CALIDAD	154709.6	89.56%
VEGETACION MEDIANA CALIDAD	16811.1	9.73%
VEGETACION LIGERA CALIDAD	198.09	0.11%
SUELO SIN VEGETACION	876.33	0.51%
NUBES Y AGUA	156.6	0.09%
<b>TOTAL</b>	<b>172751.72</b>	<b>100.00%</b>

En la figura 10 de observa la clasificación NDVI para el año 2010; se puede observar que para este año el municipio conservaba en su mayor parte una calidad fotosintética muy buena; con una vigorosidad alta en su ecosistema; con una vegetación de alta calidad del 89,56% con 154,709,6 hectáreas.

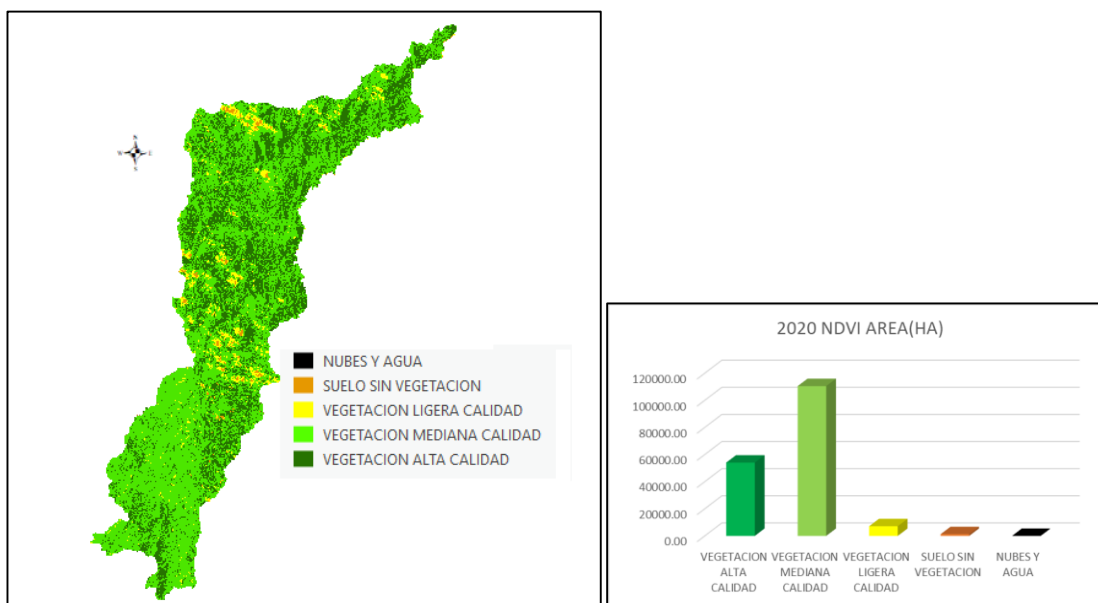


*Figura 11 NDVI Bosque Denso el Carmen año 2015*

*Tabla 6 Descripción coberturas NDVI 2015*

2015 NDVI	AREA(HA)	%
VEGETACION ALTA CALIDAD	133837.60	77.38%
VEGETACION MEDIANA CALIDAD	36480.51	21.09%
VEGETACION LIGERA CALIDAD	2244.33	1.30%
SUELO SIN VEGETACION	165.24	0.10%
NUBES Y AGUA	242.1	0.14%
<b>TOTAL</b>	<b>172969.78</b>	<b>100.00%</b>

En la figura 11 se observa la disminución de la calidad fotosintética con respecto a 2010; esto se refleja principalmente en zonas al sur del municipio, donde debido a la deforestación y la siembra de cultivos ilícitos; el ecosistema va decreciendo en fuerza. En la tabla 6 se detalla que la vegetación de alta calidad solo alcanza el 77,38%, y la vegetación mediana sube a 21,09%.

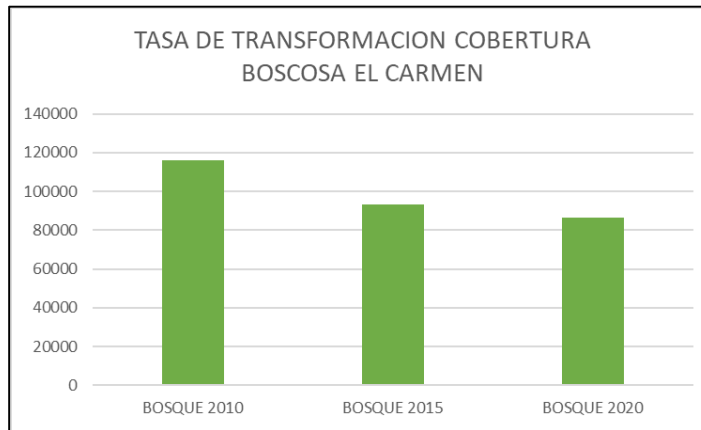


*Figura 12 NDVI Bosque Denso el Carmen año 2020*

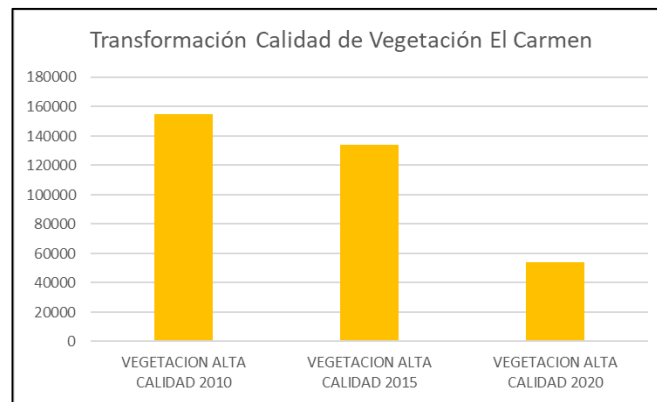
*Tabla 7 Descripción coberturas NDVI 2020*

2020 NDVI	AREA(HA)	%
VEGETACION ALTA CALIDAD	54050.13	31.25%
VEGETACION MEDIANA CALIDAD	110494.3	63.88%
VEGETACION LIGERA CALIDAD	7139.88	4.13%
SUELO SIN VEGETACION	1267.47	0.73%
NUBES Y AGUA	18	0.01%
<b>TOTAL</b>	<b>172969.78</b>	<b>100.00%</b>

En la figura 12 se observa que la disminución de calidad de biomasa reflejada de las plantas en el municipio disminuye considerablemente, llegando a una cifra del 31,25%; por ende, la vegetación de calidad media aumenta hasta el 63,88%, ocupando 110494,3 hectáreas; y la vegetación ligera aumenta hasta el 4,13%; esto se debe principalmente a que el ecosistema ha sufrido un cambio brusco por la degradación ambiental realizada en la zona en los últimos años.



*Figura 13 Tasa de transformación cobertura boscosa El Carmen*



*Figura 13 Tasa de transformación calidad de vegetación El Carmen*

### 3 Conclusiones

La gestión ambiental es indispensable en un municipio principalmente teniendo en cuenta su capacidad ambiental, y forestal como es el caso del municipio de El Carmen, de acuerdo a esto las imágenes satelitales landsat son un instrumento de apoyo importante en este proceso de análisis multitemporal, donde se logra evidenciar como ha cambiado la cobertura del suelo, y en qué zonas del municipio ha tenido una afectación más importante.

De manera definitiva el análisis muestra un deterioro ambiental significativo en toda la región, teniendo en cuenta los dos estudios realizados de clasificación supervisada y NDVI.

La escogencia de imágenes fue acertada teniendo en cuenta su baja nubosidad, y las herramientas suficientes para mostrar una correcta transformación, sin necesidad de ir a la zona de estudio; donde gracias al software adecuado se pudo corregir errores atmosféricos pertinentes para el idóneo análisis posterior.

La clasificación supervisada tuvo una orientación valida en cuanto a la observación de la transformación de área boscosa en el municipio evidenciando cambios importantes, y reflejando que el primer periodo (2010-2015) tuvo un mayor deterioro en este sentido, quizás por la implementación de políticas post conflicto del segundo periodo (2015-2020).

En cuanto al análisis de NDVI se evidencio una correcta clasificación del cambio de la calidad de vegetación, y disminución de calidad fotosintética de la misma en el municipio, contemplando un cambio principalmente significativo hacia el periodo (2015-2020).

Es importante la concientización de la degradación de la vegetación ambiental que afecta principalmente a municipios con importantes afluencias de ecosistemas como el Carmen, y que se encuentran alejados de las principales urbes.

### **Bibliografía**

- Adolfo López-Pérez, M. R.-M.-R. (2015). *Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación*. Mexico.
- ANU COLLEGE OF ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE. (2013). *REMOTE SENSING DIGITAL IMAGE ANALYSIS*. AUSTRALIA.
- BENITEZ, M. F. (2020). *ANALISIS MULTITEMPORAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA EN EL MUNICIPIO DE CALOTO, CAUCA DENTRO DEL MARCO DEL CONFLICTO ARMADO 2000-2016*. BOGOTA.
- CERVIGON, J. J. (2015). *ESTUDIO DE INDICES DE VEGETACION A PARTIR DE IMAGENES AEREAS TOMADAS DESDE UAS/RPAS Y APLICACIONES DE ESTOS A LA ARGICULTURA DE PRESICIÓN*. MADRID.
- COLOMBIA, W. (2020). *DEFORESTATION INCREASED IN NATIONAL PROTECTED AREAS DURING THE POST-CONFLICT*. BOGOTA: WILDLIFE CONVERSATION SOCIETY.
- DANE, D. A. (2005). *CENSO GENERAL NACIONAL 2005*. COLOMBIA.
- DELITO, O. D. (2017). *Análisis del cultivo de coca como motor de deforestación en el contexto De desarrollo alternativo y REDD+, en las regiones de Amazonia y Catatumbo(2005-2014)*. Colombia: Cooperacion Alemana(DEUTCHE ZUSAMMENARBEIT).
- GONZALES, M., CONDE, C., & DE PABLO, M. (2007). *Aplicación de imágenes Landsat (tm y etm+) en estudios geoestructurales en el NO del macizo iberico*. La Coruña.
- Hortua, P. L. (2017). *ANALISIS MULTITEMPORAL DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA COBERTURA BOSCOsa DEL PARQUE NATURAL CATATUMBO BARI*. BOGOTA.

MINISTERIO DE ESPAÑA;MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA;INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. (2020). *EL PROGRAMA COPERNICUS PARA LA MONITORIZACION DEL TERRITORIO Y LOS OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE*. MADRID.

MOLINERO, L. (2003). *¿QUE ES EL METODO DE LA VEROSIMILITUD Y COMO SE INTERPRETA?* SOCIEDAD ESPAÑOLA DE HIPERTENSION .

MUÑOZ, A. G., & LOPEZ, G. J. (2016). *ANÁLISIS MULTIESPECTRAL DE IMÁGENES SATELITALES PARA EVALUAR VARIACIONES ESPACIO - TEMPORALES EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE EL GUÁJARO, ATLANTICO*. BARRANQUILLA.

PUEBLO, D. D. (2006). *SITUACION SOCIAL Y AMBIENTAL DE LA REGION DEL CATATUMBO-NORTE DE SANTANDER* . BOGOTA.

Santander, A. M. (2003). *ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPIO DE EL CARMEN-DIAGNOSTICO RURAL* . El Carmen Norte de Santander.